С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің **Ғылым жаршысы**(пәнаралық) **= Вестник науки** Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (междисциплинарный). – 2015. - №1 (84). –С. 198-207

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОЗИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЗЕРНОТУКОВОЙ МАШИНЫ С БЛОКОМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

С.О. Нукешев[1], Д.З. Есхожин[1], Н.Н. Романюк[2], Е.С. Ахметов[1], К.Д. Есхожин[1], Е.А.Золотухин[1], К.М.Тлеумбетов [1]

АО «Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина»[1], Астана, Республика Казахстан

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»[2], Минск, Республика Беларусь

Аннотация

Целью исследования является повышение эффективности работы автоматизированной дозирующей системы зернотуковой сеялки для дифференцированного применения семян и удобрений в системе точного земледелия. Задачи исследования включают: подготовку экспериментального образца машины и блока контроля и управления; разработку методик и экспериментальные исследования. Исследования основаны на методах механики, математики, планирования экспериментов и статистического анализа. Для определения времени переходного процесса разработана частная методика. Усовершенствованная автоматизированная зернотуковая сеялка может осуществить дифференцированный посев семян зерновых культур и высев минеральных удобрений согласно заданиям электронных карт (в режиме *of-line*) в принятой системе позиционирования. Новизну работы составляют разработанная дозирующая система машины, технические средства ее контроля и управления и обоснованные параметры и режимы работы.

Ключевые слова: точное земледелие, высевающее устройство, минеральные удобрения, дифференцированное внесение, система контроля и управления, переходный процесс

Введение. При внесении удобрений с одной дозой на все поле, даже с высоким качеством распределения, существенно снижается их окупаемость, так как более плодородные участки, получая ту же дозу питательных веществ, что и менее плодородные, накапливают избыточный запас, а менее плодородные участки, расходуя имеющиеся запасы питательных веществ, истощаются [1-4].

Несмотря на это, производители зерна в РК для каждого поля рассчитывают дозу, исходя из усредненных показателей [5-7]. Дифференцированное внесение удобрений заключается в том, что удобрения вносят не с одной дозой на все обрабатываемое поле, а с учетом потребности отдельных элементарных участков поля в элементах питания. При этом доза внесения и соотношение питательных элементов выбираются с таким расчетом, чтобы окупаемость удобрений была максимальной, а загрязнение окружающей среды было сведено к минимуму.

Разработка многофункциональных машин для дифференцированного посева и внесения минеральных удобрений предполагает разработку высокоадаптивной дозирующей системы машины (ДСМ), обеспечивающей высев семян и минеральных удобрений с учетом пространственной вариабельности параметров плодородия поля.

В конструкции машины для дифференцированного посева и внесения удобрений дозирующая система является важнейшим рабочим органом. Она должна обеспечивать:

- дозирование семян и/или удобрений с высоким качеством;

- быстродействие и высокую адаптивность во всем диапазоне изменения доз и поступательной скорости агрегата;

- простоту управления, надежную работу и приспособленность к автоматизированному управлению. Однако отечественные и зарубежные конструкции дозирующих рабочих органов не в полной мере отвечают этим требованиям [8-11].

Целью исследования является повышение эффективности работы автоматизированной дозирующей системы зернотуковой сеялки для дифференцированного применения семян и удобрений в системе точного земледелия.

Задачи исследования включают подготовку экспериментального образца машины для дифференцированного посева и внесения минеральных удобрений и блока контроля и управления технологическим процессом; разработку методики экспериментальных исследований; обоснование параметров высевающего устройства и проведение исследования дозирующей системы машины.

Работа выполнена в течение 2012-2014 гг. по гранту МОН РК.

Методы исследования основаны на методах механики и математики, планирования экспериментов, статистического анализа, государственных и отраслевых стандартов. Для определения времени переходного процесса была

разработана частная методика, заключающаяся в том, что для посекундного определения количества и неравномерности высева под тукопровод высевного окна на бегущую ленту устанавливаются противни с длиной, равной линейной скорости бегущей ленты. Например, если скорость ленты 0,135 м/с, то длина противня составляет 13,5 см. Иначе говоря, вес материала, попавшая в противень показывает количество высеянного удобрения за 1 секунд времени.

С целью проверки рабочих гипотез и теоретических предпосылок была изготовлена лабораторная установка, рис. 1. Она состоит из рамы, на которой установлены фрагмент бункера СЗС-2,0 с высевающим устройством, бегущая лента. Туковысевающие аппараты получают привод от стенда СТЭУ-10М-1000-ГОСНИТИ, который позволяет бесступенчато изменять частоту вращения. Для бегущей бесконечной ленты смонтирован отдельный привод.

Рабочий механизм с линейным актуатором и бесступенчатым редуктором откорректирован для работы с блоком контроля и управления дозирующей системой машины (ДСМ).

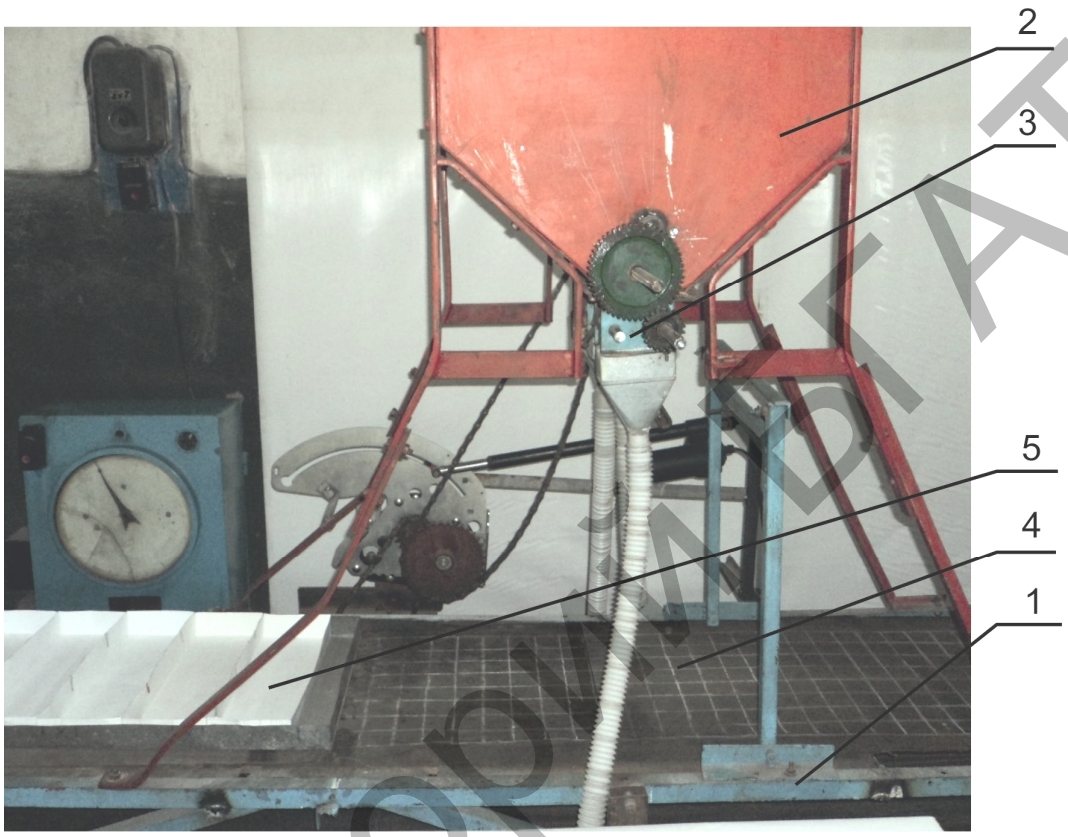
Опыты проводились на высеве гранулированного удобрения «суперфосфат».

Результаты исследования. Известные высевающие аппараты посевных и удобрительных машин не обеспечивают качество внесения минеральных удобрений. Неравномерность и неустойчивость внесения достигают 20-40% при требуемой до 15% [8, 9]. Это, прежде всего, связано с гигроскопичностью удобрений и несовершенством высевающих аппаратов для удобрений.

С целью решения проблемы обеспечения качества высева семян и внесения минеральных удобрений при их внутрипочвенном дифференцированном применении предложена оригинальная конструкция штифтовой катушки высевающего устройства. В результате теоретических исследований получено выражение, связывающее все основные конструктивные и технологические параметры: радиусы катушки, количество штифтов на ней и их высота и размеры верхнего и нижнего основания, диаметр ведущего колеса, норма внесения, ширину междурядья, передаточное отношение [12].

Для разработки блока контроля и управления ДСМ были разработаны методы по формированию электронного массива координат участка поля в глобальной системе позиционирования, формирования электронных карт элементарных участков, математические модели оптимизации доз удобрений и норм

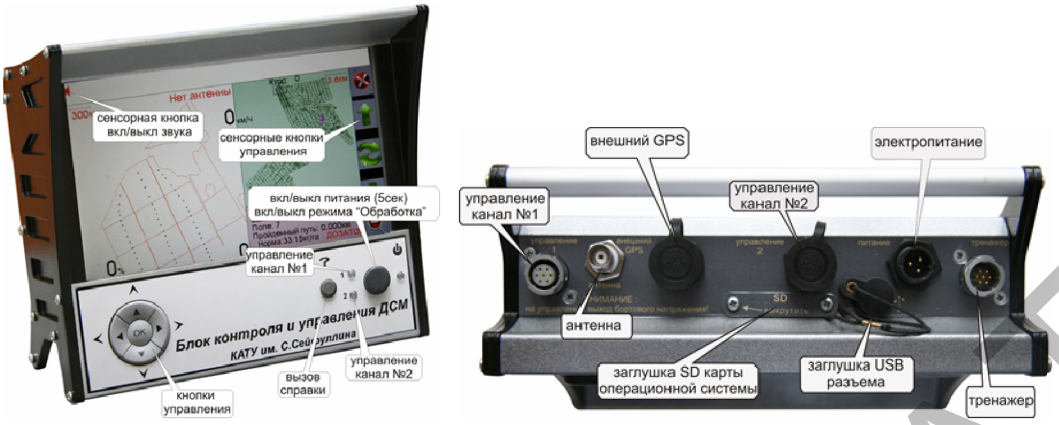
высева семян, программное обеспечение формирования электронных карт дифференцированного посева и внесения удобрений, алгоритм и программное обеспечение контроля и управления дозирующей системой машины.



1 – рама; 2 – бункер; 3 – высевающее устройство; 4 – бегущая лента; 5 - противень

Рисунок 1 – Лабораторная установка

На этой основе был разработан блок контроля и управления ДСМ, рис.2.



а) вид спереди б) вид снизу

Рисунок 2 – Блок контроля и управления ДСМ

Он предназначен для параллельного вождения автотракторной техники при внесении удобрений в дневных и ночных условиях с функциями автоматического управления расходом семян и удобрений по скорости и местоположению агрегата; измерения пройденного расстояния; уточнения площадей сельхозугодий; измерения обработанной площади; разбивки поля на прямоугольные загонки; получения первичной геодезической информации для изготовления планов полей и уточнения геометрических параметров с/х угодий.

Поисковые опыты показали, что основные показатели качества работы экспериментального высевающего аппарата – $в_0$: неравномерность высева между аппаратами Y_1 и неустойчивость высева Y_2 в рядке изменяются с изменением условия проведения опытов, то есть варьирование конструктивными и технологическими параметрами ведет к изменению параметров оптимизаций. Однако проверка значимости коэффициентов регрессии показало, что зазор между штифтами и донышком катушки в указанных пределах варьирования на качество высева не влияет. Поэтому он зафиксирован на нулевом уровне – 6 мм.

Также установлено, что разность между значениями параметров оптимизации в центре плана и величинами свободного члена

$$\left|\bar{y}_1 - в_{01}\right| = \left|3{,}05 - 5{,}801\right| = 2{,}751;$$

$$\left|\bar{y}_2 - в_{02}\right| = \left|2{,}12 - 5{,}350\right| = 3{,}23,$$

во много раз больше ошибки S_y эксперимента:

$$S_{y_1} = \pm\sqrt{S_{y_1}^{\,2}} = 0,294\,; \qquad S_{y_2} = \pm\sqrt{S_{y_2}^{\,2}} = 0,301\,.$$

Следовательно, для получения зависимостей качества высева от конструктивных и технологических параметров опытного высевающего аппарата, необходимо перейти к планированию второго порядка.

Были поставлены эксперименты по программе центрального композиционного ротатабельного планирования второго порядка. В результате математической обработки данных эксперимента определены уравнения регрессий для:

неравномерности высева между аппаратами:

$$Y_1 = 3,549 + 0,241x_1 + 0,102x_2 - 1,640x_3 + 0,96x_1x_2 - 0,687x_1x_3 - \\ - 0,275x_2x_3 + 0,379x_1^2 + 0,651x_2^2 + 2,271x_3^2\,; \qquad (1)$$

неустойчивости высева:

$$Y_2 = 4,12 + 0,322x_1 + 0,158x_2 - 0,336x_3 + 0,462x_1x_2 + 0,275x_1x_3 - 0,671x_2x_3 + \\ + 0,789x_1^{\,2} + 0,594x_2^2 + 0,487x_3^2. \qquad (2)$$

Здесь переменные факторы x_1 – угол между боковой поверхностью штифта и его вертикальной осью β; x_2 – шаг между штифтами s; x_3 – высота штифта h.

Адекватности полученных моделей проверялись с помощью F – критерия. Она показала, что значение $F_p < F_T$, поэтому гипотеза адекватности моделей может быть принята верной с 95% достоверностью.

Для перехода от кодированных (x_1, x_2, x_3) значении факторов к натуральным ($в$, s, h), в соответствии с условиями эксперимента использовались формулы:

$$x_1 = \frac{\beta - 45}{15}; \qquad x_2 = \frac{s - 10}{4}; \qquad x_3 = \frac{\mathrm{h} - 6}{2}.$$

Нелинейные уравнения в виде (1) и (2) анализировать сложно, поэтому для получения представления о геометрическом образе функции отклика, соответствующие им зависимости путем преобразований были приведены к канонической форме:

для неравномерности высева между аппаратами

$$Y_1 - 1{,}87 = 0{,}75 X_1^{\,2} + 0{,}723 X_2^{\,2} + 0{,}653 X_3^{\,2}; \quad (3)$$

для неустойчивости высева

$$Y_2 - 1{,}58 = 0{,}861 X_1^{\,2} + 0{,}796 X_2^{\,2} + 0{,}518 X_3^{\,2}. \quad (4)$$

Исследуя уравнения неравномерности высева между аппаратами в канонической форме, следует отметить, что поверхности отклика представляют собой элипсоид вращения, имеют минимум в центре элипсоида. Экстремум лежит в исследуемой области, что подтверждает правильность выбора пределов варьивания переменных факторов. При раскодировании координат особой точки из уравнения (3) получены натуральные значения факторов: угол $\beta - 40^{\circ}$; шаг между штифтами 12 мм; высота штифта 7,5 мм. При этом неравномерность высева между аппаратами равна 1,87%.

Из уравнение (4) получим следующие натуральные значения факторов в центре эксперимента:

$$\beta = 40^{\circ}; \quad s = 12{,}5 \text{мм}; \quad h = 7{,}7 \text{мм}.$$

При этом неустойчивость высева в центре фигуры равняется 1,58%.

Определение условий процесса, обеспечивающих наименьшую неравномерность и неустойчивость высева, производилась графоаналитическим способом, основанным на рассмотрении двумерных сечений поверхности Y_1, совмещенных с двумерными сечениями поверхности отклика Y_2 и выборе условных экстремумов. В результате получили конструктивные параметры высевающего аппарата: угол наклона боковых поверхностей штифта β = 40-45^0; шаг между штифтами s=12-13 мм; высота штифта h = 7,5-7,7 мм; зазор между катушкой и донышком $\delta = 6$ мм.

Дозирования при переходных процессах. Доза высеваемого материала регулируется посредством автоматического изменения частоты вращения катушки, регулируемой положением управляемой ручки, кинематический связанной со штоком линейного актуатора, получающим сигналы от блока контроля и управления в зависимости от содержания элементов питания на элементарных участках поля (согласно заданиям электронной карты).

Опыты проводились с гранулированными «Суперфосфат» удобрениями. Производительность дозирующего аппарата регулируется степенью открытия актуатора.

Опыты показали, что максимальная время перехода с наибольшей дозы до закрытия актуатора составляет до 9 с. При переходе с одной дозы на другую минимальное время перехода составляет 0,9-1 с.

Получены следующие показатели работы дозирующих экспериментальных катушечных аппаратов: неравномерность высева между аппаратами с семенами 5-7 %, с удобрениями – 10-12 %; неустойчивость высева с семенами 3-5 %, с удобрениями 6-7 %. Наименьшие значения коэффициентов вариации с семенами 5-5,2 % получены при частоте вращения катушки 32 об/мин, и проценте открытия актуатора 50%.

Неравномерность высева между аппаратами и неустойчивость высева получают свои максимальные значения при наименьшем открытии актуатора 10% и частоте вращения 22 об/мин.

Обработка экспериментальных данных позволяет получить переходные характеристики, имеющие вид, характерный для апериодического звена со временем запаздывания 2,9-3,1 с, рисунок 3. График показывает, что неравномерность высева в начале переходного процесса минимальна, а затем резко возрастает до 9,9-10,2 %. После вхождения в дозу наблюдается убывание неравномерности высева и стабилизация на уровне 2,5-4,5%.

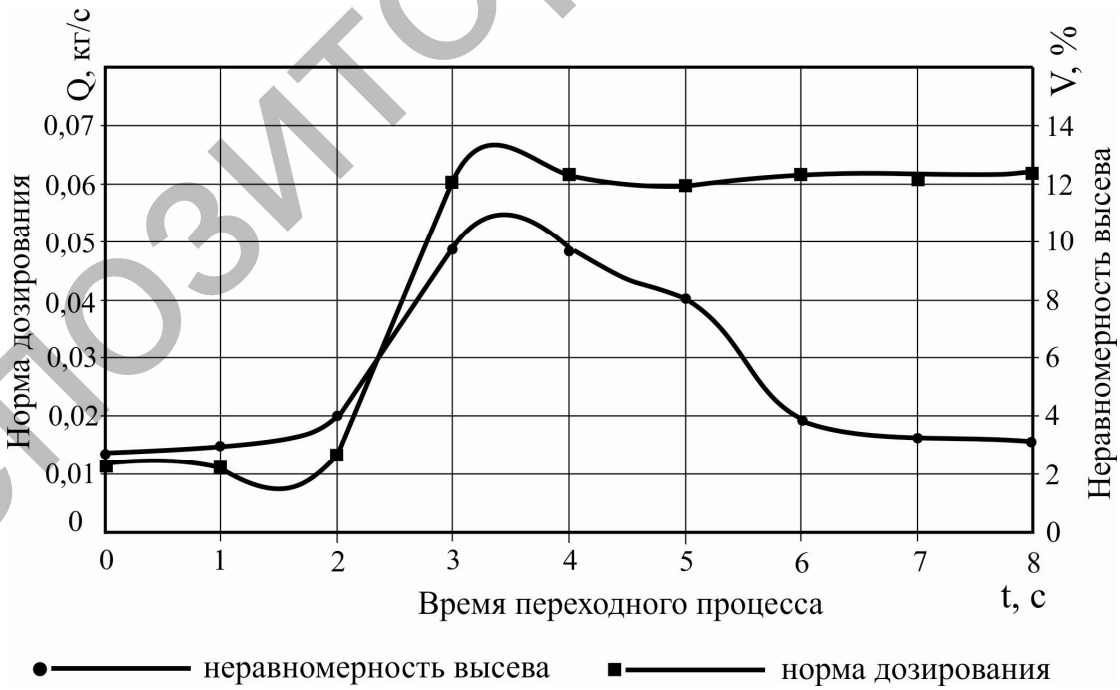


Рисунок 3 – Переходные характеристики высевающей системы

Анализ переходных процессов дозирования с равномерностью высева позволяет заключить, что при управлении по качественному критерию передаточную функцию можно определить по кривой разгона. Ее аппроксимировали функцией вида:

$$W(p) = \frac{k_{yc} \cdot e^{-p \cdot \tau}}{T_a \cdot p + 1}, \quad (5)$$

где k_{yc} – коэффициент усиления; τ – время запаздывания; T_a – время разгона; p – оператор.

Полагая, что характеристики передаточной функции зависят от конструктивных и кинематических параметров высевающей системы, для решения данной задачи воспользовались графическим методом их определения. Проведя касательную в точке перегиба кривой разгона, определили время запаздывания τ и время разгона T_a: τ=1,9 с, T_a=1,3 с. А определяется как отношение времени выхода к входу в установившееся состояние определяет коэффициент усиления k_{yc}:

$$k_{yc} = \frac{\Delta y_{вых}(\infty)}{\Delta y_{вх}(\infty)} = \frac{2,9}{3,0} = 0,97 \ .$$

Учетом времени запаздывания передаточная функция катушечно-штифтового высевающего аппарата представится в виде:

$$W(p) = \frac{0,97 \cdot e^{-p \cdot 1,9}}{1,3 \cdot p + 1} .$$

С помощью обратного преобразования Лапласа определим аналитическое значение переходной функции:

$$Q(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{p} \cdot W(p)\right] = L^{-1}\left[\frac{1}{p} \cdot \frac{k_{yc} \cdot e^{-p \cdot \tau}}{T_a \cdot p + 1}\right] = k_{yc} \cdot \left(1 - e^{\frac{t-\tau}{T_a}}\right);$$

$$Q(t) = 0,97 \cdot \left(1 - e^{\frac{t-1,9}{1,3}}\right),$$

где L^{-1} – обозначение операции обратного преобразования Лапласа.

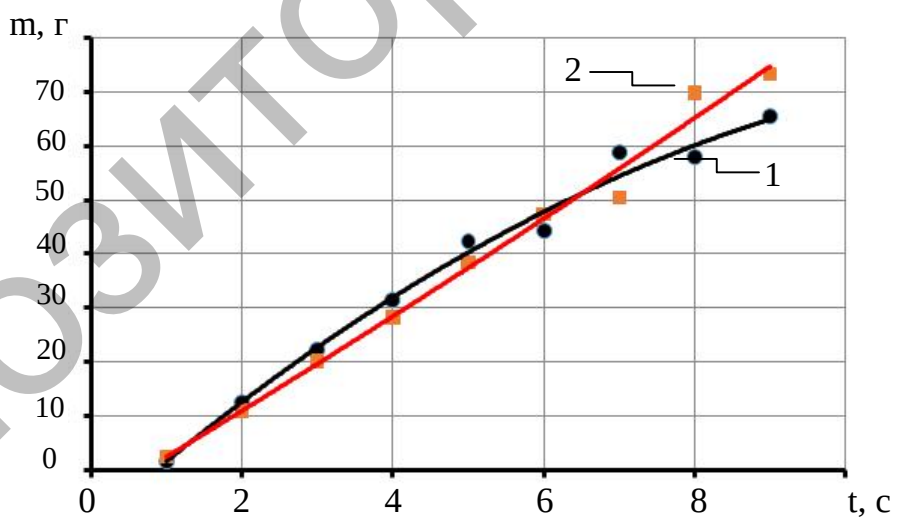
Соответствие переходной функции и кривой разгона проверялось с помощью критерия Колмогорова. Она показала, что гипотеза соответствия не отвергается при уровне значимости 0,9.

Зависимости массы высеянных семян и внесенных удобрений (m) от времени (t) при открытии и закрытии актуатора, показаны на рисунке 4 и 5.

В переходном процессе с увеличением времени открытия актуатора, увеличивается масса высеянного материала. Так при открытии актуатора, максимальная масса высеянных семян составляет 73 грамма, а при закрытии - 68 грамм. Также, максимальная масса внесенных удобрений составляет соответственно 65 и 51 грамма. Минимальная масса при переходе с одной дозы на другую при 10 %-ном открытии актуатора составляет от 2 до 12 грамм.

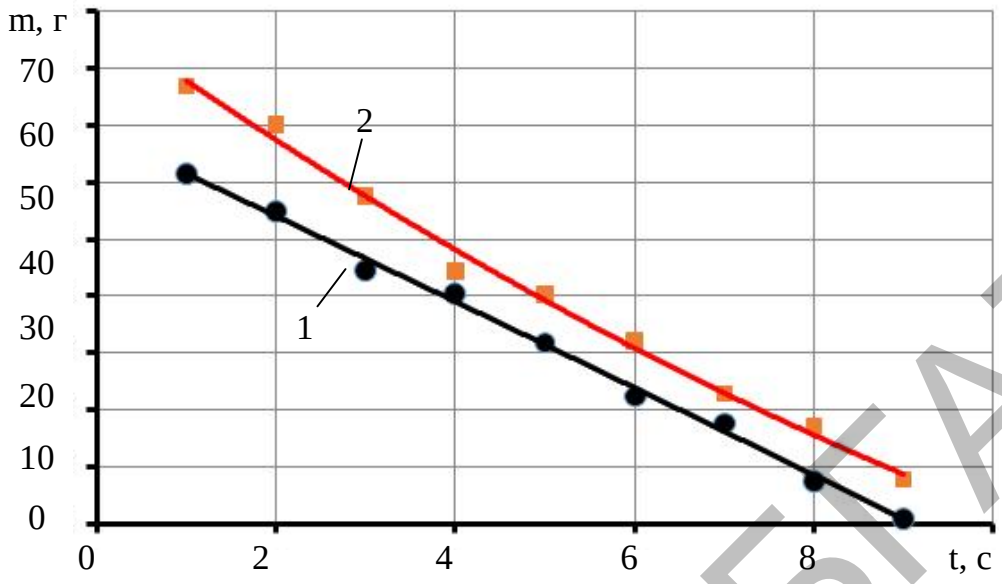
Обсуждение. В условиях автоматического изменения дозы внесения удобрений в системе точного земледелия необходимы высокоадаптивные, но простые по конструкции, надежные туковысевающие аппараты. Наиболее полно отвечает этим требованиям предлагаемая экспериментальная универсальная штифтовая катушка. Выполнение штифтов в форме усеченной четырехгранной пирамиды исключает «пассивные зоны», а расположение их на пересечении левой и правой многозаходных винтовых линии не дает удобрениям залипать

.



1 – удобрения $y = -0{,}438x^2 + 12{,}31x - 10{,}28$;
2 – семена $y = 0{,}072x^2 + 8{,}278x - 5{,}752$

Рисунок 4 – Зависимости массы высеянных семян и внесенных удобрений (m) от времени открытия актуатора (t)



1 – удобрения $y = -0{,}019x^2 - 7{,}373x + 68{,}72$;
2 – семена $y = 0{,}248x^2 - 11{,}08x + 88{,}38$

Рисунок 5 – Зависимости массы высеянных семян и внесенных удобрений (m) от времени закрытия актуатора (t)

Регулирование дозы внесения материала можно обеспечит изменением частоты вращения высевающей катушки или путем изменения площади высевного окна. Разработанный блок контроля и управления дозирующей системой машины позволяет управлять дозированием обеими путями, что является ее превосходством по сравнению с аналогами [8, 9].

Показатели работы дозирующих экспериментальных катушечных аппаратов при автоматическом изменении доз внесения удобрения (при переходных процессах): неравномерность высева между аппаратами и неустойчивость высева не превышают с семенами 3-7 %, с удобрениями 6-12 %, что показывает их соответствие агротехническим требованиям.

Анализ неравномерности внесения при переходных процессах показывает, что от 2,5 до 3,5 секунд неравномерность внесения варьируют в пределах 10-11 %, а более 3 секунд – 3-9 %. Если считать, что при скорости 8 км/ч агрегат за 3 секунды проедет 6-7 метров, то при размере элементарного участка 1 га (100*100 м) возможно применение дозаторов с большим в два-три раза временем вхождения в дозу.

Заключение. Дозирование, осуществляемое высевающим

устройством, включающим винтовой ворошитель, катушечный дозатор, блок контроля и управления, бесступенчатый редуктор и линейный актуатор, обеспечивает устойчивое функционирование высевающей системы, соответствующей агротехническим требованиям - неравномерность высева 10-12 % и неустойчивость высева 6-7 %. Усовершенствованная автоматизированная зернотуковая сеялка может осуществить дифференцированный посев семян зерновых культур и высев минеральных удобрений согласно заданиям электронных карт (в режиме *of-line*) в принятой системе позиционирования.

Список литературы

1 Личман Г.И., Марченко Н.М., Дринча В.М. Основные принципы и перспективы применения точного земледелия. – М.: Россельхозакадемия, 2004. – 81 с.

2 Марченко Н.М., Личман Г.И., Нукешев С.О. Перспективные направления производства продукции растениеводства в системе точного земледелия // Современные проблемы почвозащитного земледелия и пути повышения устойчивости зернового производства в степных регионах: сб. докл. межд. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию РГП «НПЦ зернового хозяйства им. А.И. Бараева» МСХ РК. – Шортанды, 2006. – С. 242− 247.

3 Нукешев С.О. Координатное земледелие – реалии и перспективы в Казахстане // Труды межд. науч. конф. «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан − 2030» (27-28 июня 2006). −Караганда: Изд− во КарГТУ, 2006. −Вып.2. – С. 383− 385.

4 Куришбаев А.К. Состояние и проблемы зернового производства в Республике Казахстан // Вестник с.-х. науки Казахстана. −2003. -№ 11. – С. 4.

5 Елешев Р.Е. Агрохимическое обслуживание в Казахстане: состояние и перспективы // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. −2005. − № 9.− С. 20.

6 Госсен Э.Ф. К вопросу об агроландшафтном районировании пашни Северного Казахстана с помощью дистанционного зондирования // Сборник статей по мат. докл. научно-теор. конф. «Освоение целинных и залежных земель: история и современность » (4-6 декабря 2003 года).− Астана: КазАУ им. С.Сейфуллина, 2004.− С. 78.

7 Куришбаев А.К., Нукешев С.О. Перспективы технологии дифференцированного применения минеральных удобрений в условиях Северного Казахстана / Комплексное развитие сельских территорий и

инновационные технологии в агропромышленном комплексе: мат-ы межд. научно-практ. конф., посв. 20-летию образования ИЗОП НГАУ, 26 сентября 2012 г. / Новосиб. гос. аграр. ун-т. ИЗОП. - Новосибирск, 2012. –С. 181-185.

8 Забродин В.П. Механизация процессов адаптивного внесения минеральных удобрений: дисс. …докт. техн. наук:. – Зерноград, 2004. – 384 с.

9 Белых С.А. Обоснование параметров дозирующей системы машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений: автореф. …канд. техн. наук:. 05.20.01. – М.: ВИМ, 2005. – 16 с.

10 Nukeshev S., Karaivanov D. Technological and technical solutions of the problem of variable rate application of mineral fertilizers in conditions of northern Kazakhstan / International virtual journal for science, technics and innovations for the industry. YEAR VII; Issue 7/2013: 53-54. (ISSN:1313-0226).

11 Нукешев С.О., Личман Г.И., Романюк Н.Н. Основные научные направления по разработке технологий и технических средств для дифференцированного воздействия на систему «почва-растение» / Прорывные технологии и инновации в экономики Беларуси и Казахстана. Сб. мат. межд. науч.-практ. конф. (6 декабря 2013 г.). – Минск: БНТУ, 2013. – С. 72-75.

12 Нукешев С.О. Механико-технологические основы внутрипочвенного дифференцированного внесения минеральных удобрений в системе точного земледелия: дис… док. техн. наук. – Алматы, 2010. – 326 с.

Түйін

Бұл мақалада бункерде орналасқан бұрандалы қопсытқышпен, сатысыз редуктор және сызықтық актуатор көмегімен жұмыс істейтін, бақылау және басқару блогы арқылы айналу жиілігі реттелетін, катушкалы мөлшерлеуіш - машина мөлшерлеуіш жүйесінің агротехникалық талаптарға сәйкес орнықты қызмет атқаруын қамтамасыз ететіні қарастырылған. Жетілдірілген автоматтандырылған астық-тыңайтқыш сепкіш қабылданған позициялау жүйесінде электрондық карталардағы (*of-line* режимінде) тапсырмаларға сәйкес астық тұқымдарының себілуі мен минералды тыңайтқыштардың енгізілуін саралап жүзеге асыра алады. Жұмыстың жаңашылдығына машинаның жасалған мөлшерлеуіш жүйесі, оны бақылау мен басқарудың техникалық құралдары, негізделген көрсеткіштер мен жұмыс режимдері жатады.

Summary

Study the transition process using private method has been considered in the given article. Studies have shown that dosing is carried out by means of the screw agitator, a coil dispenser, managed by the control unit of the metering system of the machine by changing the turns of the coil through the stepless gearbox and a linear actuator provides stable functioning sowing system according to agro-technical requirements. Improved automated grain-fertilizers drill can differentiate sowing crops and fertilizer according to the tasks of electronic maps (in the mode of-line) in the received positioning system. The novelty of this work is metering system machines, technical devices to monitor and control and reasonable parameters and modes of operation are developed.